Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 21, No. 2, Summer 2023, p. 203-219

The Effects of Some Biofertilizers and Nano Iron-Silicon Oxide on Yield and Grain Filling Components of Triticale (*Triticosecale* Wittmack) under Water Limitation Condition

F. Aghaei[1*], R. Seyed Sharifi[2], S. Farzaneh[2]

Received: 27-09-2022 Revised: 27-11-2022 Accepted: 10-12-2022	**How to cite this article:** Aghaei, F., Seyed Sharifi, R., & Farzaneh, S. (2023). The Effects of Biofertilizers and Nano Iron-Silicon Oxide on Yield and Grain Filling Components of Triticale (*Triticosecale* Wittmack) under Water Limitation Condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *21*(2), 203-219. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.78960.1199

Introduction

In arid and semi-arid regions, drought stress as the main factor and salinity stress as a secondary factor decreases plant growth and yield. Water limitation can damage pigments and plastids, and reduce chlorophyll index, rate, and grain filling period. Several strategies have been developed to decrease the toxic effects caused by environmental stresses on plant growth. Among them, the use of bio-fertilizers such as plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and also nanoparticles such as nano iron-silicon oxide plays a very important role in yield improvement. Inoculation of plants with native suitable microorganisms may decrease the deleterious effects of environmental stresses and increase stress tolerance of plants by a variety of mechanisms, including synthesis of phytohormones such as auxins, cytokinin, and gibberellins, solubilization of minerals like phosphorus, production of siderophores and increase in nutrient uptake, N_2 fixation. It seems that application of nanoparticles and biofertilizers can improve triticale yield under water limitation conditions.

Materials and Methods

To study the effects of bio-fertilizers and nano silicon-iron oxide on the quantitative yield and grain-filling components of triticale under water limitation conditions, a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications at the research farm of the faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili during 2021. The experimental factors included irrigation in three levels (full irrigation as control, irrigation withholding at 50% of the heading stage based on codes 43 of the BBCH scale; irrigation withholding at 50% of the booting stage based on codes 55 of the BBCH scale), as severe and moderate water limitation respectively, application of biofertilizers in four levels (no application of biofertilizers as control, application of *Azospirilum*, *Pseudomonas*, both application *Azospirilum* and *Pseudomonas*) and nanoparticles foliar application at four levels (foliar application with water as control, nano iron oxide foliar application, nano silicon, both foliar application nano iron-silicon oxide). The strains and cell densities of microorganisms used as PGPR in this experiment were 108 bacteria per milliliter (10^8 cfu.ml^{-1}). A two-part linear model was used to quantify the grain-filling parameters. In this study, anthocyanin, flag leaf protein, chlorophyll index, grain filling components, and yield of triticale were investigated. Chlorophyll Index was calculated by a chlorophyll meter (SPAD-502; Konica Minolta Sensing, Inc., Japan). Grain dry weight and

1- PhD Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
(*- Corresponding Author Email: f.aghaei1994@gmail.com)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.78960.1199

number were used to calculate the average grain weight for each sample. The total duration of grain filling was determined for each treatment combination by fitting a bilinear model:

$$\mathrm{GW} = \begin{cases} a + bt & t < to \\ a + bt & t \geq to \end{cases}$$

Where GW is the grain dry weight; a, the GW-intercept; b, the slope of grain weight indicating grain filling rate; t, the days after earring; and t_0, physiological maturity. The effective grain filling period (EGFD) was calculated from the following equation:

EGFD = the highest grain weight (g)/rate of grain filling (g day^{-1}).

Results and Discussion

The results showed that the both application of biofertilizers and foliar application of nano iron-silicon oxide in full irrigation, increased maximum grain weight (56.07%), grain filling period, and Effective grain filling period (22.29 and 48.43% respectively), chlorophyll index (45.11%) and flag leaf protein (64.75%), plant height (49.31%), number of grains per spike (70.58%), spike length (53.75%), 1000 grains weight (64.9%) and grain yield (43.28%) in compared to no application of biofertilizers and no foliar application under severe water limitation. Severe water limitation increased the content of anthocyanin, but the application of biofertilizers and foliar application of nano silicon-iron oxide decreased its content.

Conclusion

Based on the results of this study, it seems that application of both applications of *Azospirilum* and *Pseudomonas* and foliar application of nano iron-silicon oxide can be applied as a proper method for increasing grain yield of triticale under water limitation conditions.

Keywords: Anthocyanin, Chlorophyll index, Flag leaf protein, 1000 grains weight, Pseudomonas

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۱، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۲۱۹-۲۰۳

تاثیر برخی کودهای زیستی و نانواکسید آهن و سیلیکون بر عملکرد و اجزای پر شدن دانه تریتیکاله در شرایط محدودیت آبی

فاطمه آقائی[1]*، رئوف سیدشریفی[2]، سلیم فرزانه[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۹

چکیده

به‌منظور بررسی تاثیر کودهای زیستی و نانواکسید آهن و سیلیکون بر عملکرد و اجزای پر شدن دانه تریتیکاله در شرایط محدودیت آبی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. عامل‌های مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل در طول دوره رشدی به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰٪ مراحل تورم غلاف برگ پرچم (غلاف رفتن) براساس کد ۴۳ مقیاس BBCH و ظهور سنبله بر اساس کد ۵۵ مقیاس BBCH به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی)، کاربرد کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان شاهد، کاربرد *Azospirillum*، *Pseudomonas*، کاربرد توام *Azospirillum* و *Pseudomonas*) و محلول‌پاشی نانوذرات در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی نانواکسیدآهن، نانوسیلیکون، محلول‌پاشی توام نانواکسیدآهن و نانوسیلیکون) بود. نتایج نشان داد که کاربرد توام کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانواکسید آهن و سیلیکون در شرایط آبیاری کامل، حداکثر وزن دانه (۵۶/۰۷٪)، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه (به‌ترتیب ۲۲/۲۹ و ۴۸/۴۳٪)، شاخص کلروفیل (۴۵/۱۱٪) و پروتئین برگ پرچم (۶۴/۷۵٪)، ارتفاع بوته (۴۹/۳۱٪)، تعداد دانه در سنبله (۷۰/۵۸٪)، طول سنبله (۵۳/۷۵٪)، وزن هزار دانه (۶۴/۹٪) و عملکرد دانه (۴۳/۲۸٪) را نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی در شرایط محدودیت شدید آبی افزایش داد. محدودیت شدید آبی محتوای آنتوسیانین را افزایش داد ولی کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانواکسید آهن و نانوسیلیکون محتوای آن را کاهش داد. براساس نتایج این بررسی به‌نظر می‌رسد که کاربرد توام *Pseudomonas* و *Azospirillum* و محلول‌پاشی نانواکسید آهن و سیلیکون می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب برای افزایش عملکرد تریتیکاله در شرایط محدودیت آبی به‌کار برده شود.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، پروتئین برگ پرچم، سودوموناس، شاخص کلروفیل، وزن هزار دانه

مقدمه

تریتیکاله (*Triticosecale* Wittmack) به‌عنوان نخستین غلات دانه‌ریز است که توسط انسان از تلاقی گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان والد مادری و چاودار (*Secale cereale* L.) به‌عنوان والد پدری به‌وجود آمده است تا کیفیت دانه و خصوصیات عملکردی گندم و مقاومت به بیماری‌ها و تنش‌های محیطی چاودار، در یک گیاه ظهور پیدا کند (Bezabih, Girmay, & Lakewu, 2019). براساس آمار فائو، سطح زیر کشت و تولید جهانی تریتیکاله به‌ترتیب معادل ۴/۱۷ میلیون هکتار و ۱۵/۵۶ میلیون تن گزارش شده است (FAO, 2017). و سطح زیر کشت آن در ایران بیش از ۱۶۰۰۰ هزار هکتار است (Ansari, Mirmohammady Maibody, Arzani, & Golkar, 2018). خشکی یکی از شدیدترین تنش‌های غیرزیستی است که با تغییر ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان مختلف به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، موجب کاهش رشد و عملکرد می‌شود (Abdelaal *et al*., 2021). افزایش دمای محیط ناشی از تغییرات اقلیم، در بیشتر موارد بـه افزایش تقاضای گیاهان به آب، تبخیر بیشتر رطوبت از خاک و کاهش مقدار کربن آلی خاک منجر شده است (Baveye, Schnee, Boivin, Laba, &

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: f.aghaei1994@gmail.com
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.78960.1199

(Radulovich, 2020). نزولات جوی و الگوی پراکنش آن نیز طی چند دهه گذشته متغیر بوده و عملکرد گیاهان زراعی را با خطر کاهش تولید مواجه کرده است. اثرات خشکسالی بر روی گیاهان به عوامل متعددی از جمله کمبود آب آبیاری، بارندگی کم، دمای پایین و بالای هوا و همچنین شوری خاک بستگی دارد. در شرایط خشکی، گیاهان با بستن منافذ روزنه‌ای خود، موجب تغییر در متابولیسم، فتوسنتز، کاهش جذب و تثبیت CO_2 شده و در نهایت تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن را افزایش می‌دهد (Qayyum *et al*., 2021). در چنین شرایطی گیاه با بسته نگه داشتن روزنه‌ها در طی روز موجب اختلال در انتقال الکترون در فتوسیستم II شده و فتولیز آب موجب افزایش الکترون می‌گردد. این الکترون‌های اضافی، با تولید اکسیژن فعال موجب خسارت به غشای سلولی از طریق پراکسیداسیون چربی‌ها و پروتئین‌ها شده و در نهایت به کاهش محتوای کلروفیل گیاه منجر می‌شود (Schutz, & Fangmeir, 2001)، در چنین شرایطی تخریب محتوای کلروفیل، کوتاه شدن ماندگاری سطح سبز و طول دوره رشدی گیاه موجب کاهش سرعت و طول دوره پر شدن دانه و در نهایت عملکرد دانه می‌شود (Narimani, Seyed Sharifi, Khalilzadeh, & Aminzadeh, 2019). اثر منفی تنش‌های غیرزیستی بویژه خشکسالی می‌تواند با حضور باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR[1]) همانند *Rhizobium*، *Azospirillum*، *Bacillus*، *Azotobacter*، *Paenibacillus* و *Pseudomonas* که از اجزای طبیعی خاک محسوب می‌شوند به بهبود رشد گیاهان کمک کنند. اکثر این باکتری‌ها توانایی افزایش ویژگی‌های رشد و عملکردی را در شرایط طبیعی از طریق تثبیت نیتروژن، تولید اسیدهای آمینه و فیتوهورمون‌ها و کمک به دسترسی بهتر گیاهان به مواد مغذی در شرایط تنش‌های زیستی و غیرزیستی دارا هستند (Al Kahtani *et al*., 2020). کاربرد این باکتری‌ها می‌تواند اثرات ناشی از محدودیت آبی را در بسیاری از گیاهان مانند گندم (Ahmadi Nouraldinvand, Seyedsharifi, Siadat, & Khalilzadeh, 2021) و جو (*Hordeum vulgare* L.) (Abadi, Seyed Sharifi, Narimani, & Khalilzadeh, 2021) با افزایش دسترسی به مواد مغذی بهبود بخشند. محمدی کله‌سرلو و همکاران (Mohammadi Kale Sarlou, Seyed Sharifi, Sedghei, Narimani, & Khalilzadeh, 2021) گزارش کردند که تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد از طریق افزایش محتوای کلروفیل، ضمن افزایش و تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه، موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود. گلیلی و همکاران (Galili, Tang, Zhu, & Gakiere, 2001) بهبود درصد پروتئین در حالت تلقیح بذر با باکتری‌ها را، به تثبیت زیستی نیتروژن و فراهمی آن در زمان پر شدن دانه نسبت دادند.

برقراری تعادل بین عناصر غذایی به‌ویژه عناصر ریزمغذی در خاک و گیاه یکی از مسائل مهم در بهبود رشد گیاهان زراعی است. در این راستا محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی به فرم نانوذرات به‌دلیل سرعت جذب، انتقال و تجمع بیشتر این ذرات در مقایسه با فرم معمولی، نقش مؤثری در رشد گیاهان دارد. مظاهری‌نیا و همکاران (Mazaherinia, Astaraei, Fotovat, & Monshi, 2010) گزارش کردند که نانواکسید آهن در مقایسه با آهن معمولی، تأثیر معنی‌داری بر افزایش آهن گیاه داشت. از آن‌جایی‌که آهن از عناصر کم‌مصرف و موثر در فتوسنتز، تنفس و تثبیت نیتروژن بوده وکمبود آن یک مسئله شایع در نواحی خشک و نیمه‌خشک با خاک‌های قلیایی است (Fahad, Ahmad, Akbar Anjum, & Hussain, 2014). از این رو در این نواحی محلول‌پاشی به شکل نانوذرات در مقایسه با شکل متداول و مرسوم آن‌ها به‌دلیل این‌که عناصر غذایی به‌آرامی و با سرعتی مناسب در طول دوره رشد گیاه آزاد می‌شوند (Naderi & Abedi, 2012)، به‌عنوان یک راه‌کار مفید و موثر برای اصلاح کمبود آهن توصیه شده است (Galavi, Ramroudi, & Tavassoli, 2012). یون‌های فلزی مانند آهن، روی و منگنز در سنتز کربوهیدرات‌ها بویژه در شرایط خشکی نقش مهمی داشته و مقاومت گیاه را در برابر تنش محیطی افزایش می‌دهند (Babaeian, Piri, Tavassoli, Esmaeilianand, & Gholami, 2011). نریمانی و همکاران (Narimani *et al*., 2019) اظهار داشتند محلول‌پاشی نانواکسیدآهن به‌دلیل حضور آن در ساختار کلروفیل و کمک به افزایش کارایی فتوسنتزی در شرایط خشکی، موجب افزایش محتوای کلروفیل، اجزای پر شدن و عملکرد دانه گندم شد. در بررسی فتحی امیرخیز و همکاران (Fathi Amirkhiz, Amini Dehaghi, & Heshmati, 2015a)، کاربرد کود کلات آهن در شرایط آبیاری موجب افزایش میزان آنتوسیانین در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) شد.

سیلیکون (Si) فراوان‌ترین عنصر معدنی در پوسته زمین بعد از اکسیژن و از عناصر مهم در تعدیل اثر ناشی از محدودیت آبی است که موجب بهبود جذب عناصری مانند پتاسیم، فسفر و کلسیم در گیاهان می‌شود (Eneji *et al*., 2008). اگرچه سیلیکون به‌عنوان یک عنصر ضروری برای گیاهان در نظر گرفته نمی‌شود، ولی به‌عنوان یک عنصر معدنی موثر در رشد و عملکرد گیاهان زراعی بویژه برنج (*Oryza sativa* L.) و سایر غلات مطرح است (Tripathi *et al*., 2016). سیلیکون گیاهان را از اثر مخرب کم‌آبی محافظت کرده و بهره‌وری گیاه تحت شرایط تنش را، بهبود می‌بخشد (Tripathi *et al*., 2016). این عنصر با بهبود محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و همچنین گسترش بیشتر سطح برگ، موجب بهبود سرعت و طول دوره پر شدن دانه و افزایش عملکرد دانه می‌شود (Ahmadi Nouraldinvand *et al*., 2021).

1- Plant Growth Promoting Rhizobacteria

محدودیت آبی در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور به‌ویژه در مراحل مختلف رشد زایشی موجب تسریع پیری و کاهش طول دوره پر شدن دانه می‌شود. در این راستا به‌دلیل اهمیت کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانواکسید آهن و نانوسیلیکون در کاهش و یا تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی، و بررسی‌های محدود انجام شده درخصوص برهمکنش توأم این عوامل، موجب شد تا اثر این عوامل بر شاخص کلروفیل، پروتئین برگ پرچم، عملکرد و اجزای پرشدن دانه تریتیکاله مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی با مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا در بهار سال ۱۴۰۰ اجرا شد (Kheirizadeh Arough, 2016). محل اجرای آزمایش دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد است (Narimani *et al*., 2019). نتایج حاصل از تجزیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک

Table 1- Soil physico-chemical characteristics

ویژگی Characteristic	روی Zn	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	کربن آلی O. C	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	آهک $CaCO_3$	درصد عصاره اشباع Saturated extract	بافت Texture	pH
مقادیر	mg kg^{-1}					٪						
Amount	1.8	212	8.29	0.06	0.62	35	42	23	14.4	49	Loamy	7.8

عامل‌های مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل در طول دوره رشدی به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰٪ مراحل تورم غلاف برگ پرچم (غلاف رفتن) براساس کد ۴۳ مقیاس BBCH و ظهور سنبله براساس کد ۵۵ مقیاس BBCH به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی)، مصرف کودهای زیستی در خاک با چهار سطح (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، کاربرد *Azospirillum*، *Pseudomonas*، کاربرد توام *Azospirillum* و *Pseudomonas*) و محلول‌پاشی نانوذرات در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی نانواکسیدآهن، نانوسیلیکون، محلول‌پاشی توام نانواکسیدآهن و نانوسیلیکون) بود. سویه خالص باکتری‌های محرک رشد از موسسه خاک و آب تهران، نانواکسید آهن از موسسه تجهیزات آزمایشگاهی و شیمیایی جهان کیمیای ارومیه و نانوسیلیکون (SiO_2-Nano) محصول شرکت Nanomaterial US Research بود که از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه و ویژگی‌های آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های نانواکسید آهن و نانوسیلیکون

Table 2- Nano iron-silicon oxide properties

رنگ Color	سطح ویژه ذرات surface of particles specific	میانگین اندازه ذرات Average particle size (nm)	خلوص Purity (%)	وزن Weight (g)	نانوذرات Nanoparticles
پودری قرمز Red powder	>30 $m^2.g^{-1}$	<30	99	1	نانواکسید آهن Nano iron oxide
پودری سفید White powder	>30 $m^2.g^{-1}$	20-30	99	0.05	نانوسیلیکون Nano silicon

برای تلقیح بذرها با باکتری‌های *Azospirillum* و *Pseudomonas*، از مایه تلقیحی که هر گرم آن دارای 10^8 عدد باکتری زنده و فعال بود به همراه محلول صمغ عربی به نسبت ۱۰ درصد وزنی- حجمی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. این مخلوط به مدت دو ساعت در محل خشک و تاریک قرار داده شد. محلول‌پاشی نانواکسیدآهن و سیلیکون در دو مرحله از دوره رشد رویشی (مراحل پنجه‌دهی و ساقه‌دهی به‌ترتیب معادل با کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH) انجام شد. کاشت در ۱۵ اردیبهشت و تاریخ برداشت ۳۱ مرداد ۱۴۰۰ بود. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی، نیاز گیاه زراعی و سطوح تیمار کم آبیاری انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول دو متر با فاصله بین ردیفی ۲۰ سانتی‌متر با تراکم ۳۸۰ بذر در متر مربع (که تراکم مطلوب و توصیه شده رقم سناباد است) بود. ویژگی‌های جوی در طول دوره رشدی در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- ویژگی‌های جوی در طول دوره رشدی تریتیکاله
Table 3- Atmospheric characteristics during triticale growth

پارامتر Parameter	فروردین Apr	اردیبهشت May	خرداد Jun	تیر Jul	مرداد Aug
بارندگی Rainfall (mm)	5.5	16.8	6.3	3.5	3.5
میانگین دما Average temperature (°C)	10.6	15.0	19.2	21.3	21.3
متوسط رطوبت نسبی (درصد) Mean of relative humidity	63	72	63	58	58
مجموع ساعات آفتابی Total hours of sunshine	226.7	248.2	316.1	309	309

به‌منظور تعیین اجزای پر شـدن دانـه تقریبـا پـس از پایـان دوره گلدهی و شروع دوره پر شدن دانه، در فواصل زمانی هر چهار روز یک بار، سه بوته از بین بوته‌های رقابت‌کننده به‌طـور تصـادفی انتخـاب و پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا دانه‌ها از سنبله جدا و شمارش شده و بعد به مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی تهویه‌دار در دمای ۶۰ درجـه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک تـک بـذر از محاسـبه وزن خشک کل به تعداد بـذر بـرآورد شـد (Ronanini, Savin, & Hal, 2004). به‌منظور برآورد، تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهـای مربـوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی (دو تکـه‌ای) بـر اسـاس رویه DUD و دستورالعمل Proc Nline نرم‌افزار SAS به‌صورت زیـر استفاده شد.

$$GW = \begin{cases} a + bt & t < to \\ a + bt & t \geq to \end{cases} \qquad (۱)$$

در این معادله GW وزن دانه، t زمان و b سرعت پر شدن دانه، t_0 پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدا است. ایـن مـدل تغییـرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کنـد: مرحلـه اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t_0 که در حقیقـت زمـان رسـیدگی وزنـی است، به‌صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله ($t < t_0$) سرعت پـر شـدن دانـه را نشـان مـی‌دهـد (Ellis & Pieta-Filho, 1992). با پردازش این مدل بر کلیـه داده‌هـا ابتـدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنـی سـرعت پـر شـدن دانـه (b) و زمـان رسیدگی وزنی (t_0) به‌دست آمده و سپس مقدار عـددی t_0 در قسـمت دوم رابطه قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه شد. بـرای تعیین دوره موثر پر شدن دانـه از رابطـه (۲) اسـتفاده شـد (Ellis & Pieta-Filho, 1992).

$$EFP = \frac{MGW}{b} \qquad (۲)$$

در این معادله EFP دوره موثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و b سرعت پر شدن دانه است.

برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل از دستگاه کلروفیل‌متـر (مـدل SPAD-502، شرکت Konica Minolta، ژاپن) بعد از اعمال تیمارها و در مرحله ظهور برگ پرچم، در هر واحد آزمایشی پنج بوته انتخاب و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در تجزیـه داده‌هـا به‌کار گرفته شد. برای تعیین محتوای آنتوسـیانین، مقـدار ۰/۰۵ گـرم بافت گیاهی با چهار سی‌سی اسید کلریدریک یـک درصـد متـانول در یک هاون چینی ساییده شد. محلول حاصل بـه مـدت ۲۴ سـاعت در یخچال نگهداری شد و سپس، محلول به مدت ۱۰ دقیقـه و در ۴۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد. پس از برداشتن فاز رویـی، جـذب محلـول‌هـا در طول موج ۵۳۰ و ۶۵۷ نانومتر نسبت به شاهد انـدازه‌گیـری شـد و بـا استفاده از رابطـه (۳) محاسـبه شـد (Mita, Murano, Akaike, & Nakamura, 1997).

$$A=A_{530}-(0.25\times A_{657}) \qquad (۳)$$

پروتئین برگ پـرچم بـا اسـتفاده از روش برادفـورد (Bradford, 1976) اندازه‌گیری شد. در زمان رسـیدگی بـه منظـور تعیـین برخـی صفات مانند طول سنبله، ارتفاع بوته و تعداد دانه در سنبله، هشت بوته از ردیف‌های اصلی هر واحد آزمایشی و از بین بوته‌های رقابـت‌کننـده انتخاب و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صـفات بـرآورد شد. عملکرد دانه از سطحی معادل ۰/۲ متر مربع از خطوط اصلی هـر کرت بعد از حذف اثر حاشـیه‌ای بـرآورد شـد. تجزیـه داده‌هـا و رسـم شکل‌ها از نرم‌افزارهـای $SAS_{9.1}$ و Excel و مقایسـه میـانگین‌هـا بـا آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

اجزای پرشدن دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد کـه اثـر سطوح آبیاری، کاربرد کودهای زیستی، نانواکسید آهـن و سـیلیکون و اثر ترکیب تیماری این عوامل بر تمامی اجزای پرشـدن دانـه (اعـم از حداکثر وزن دانه، سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پـر شـدن دانـه) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بررسی روند تغییرات پر شدن دانه نشان داد که الگوی نمو بذر در تمامی عامل‌هـای مـورد بررسی مشابه است (شکل ۱). به این ترتیب که ابتـدا وزن دانـه بـه-صورت خطی افزایش یافته و به حداکثر خود رسید (رسـیدگی وزنـی).

پس از این مرحله تا زمان برداشت وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبوده و به‌صورت یک خط افقی درآمد. نتایج نشان داد حداکثر وزن دانه (۰/۰۶۰۴گرم) و سرعت پرشدن دانه (۰/۰۰۲۰۳ گرم در روز) در ترکیب تیماری آبیاری کامل، کاربرد توام کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانواکسید آهن و سیلیکون و کمترین این صفات (به‌ترتیب ۰/۰۳۸۷ گرم و ۰/۰۰۱۶۵ گرم در روز) در شرایط قطع آبیاری در مرحله تورم غلاف برگ پرچم، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد (جدول ۶). از آن‌جایی که وزن دانه به مقدار زیادی وابسته به دوره پرشدن دانه است، بنابراین تنش‌های محیطی که موجب کوتاه شدن طول دوره پرشدن دانه شوند، به‌طور معنی‌داری وزن دانه را کاهش می‌دهند (Mohammadi Kale Sarlou *et al.*, 2021). بیش‌ترین طول دوره پر شدن دانه (۴۰/۷۳ روز) در شرایط آبیاری کامل، محلول‌پاشی نانوذرات و کاربرد توام *Azospirillum* و *Pseudomonas* و کم‌ترین آن (۳۲/۷۷ روز) در عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله تورم غلاف برگ پرچم به‌دست آمد (جدول ۶). نریمانی و همکاران (Narimani *et al.*, 2019) اظهار داشتند که آهن به‌دلیل نقش اساسی که در ساخت کلروفیل و انتقال الکترون در فتوسنتز دارد، موجب افزایش محتوای کلروفیل و ماندگاری سطح سبز گیاه می‌شود و از این طریق با طولانی کردن دوره پر شدن دانه، به افزایش وزن دانه کمک کند. به‌نظر می‌رسد بالا بودن سرعت پر شدن دانه در شرایط آبیاری کامل، کاربرد توام کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانواکسیدآهن و سیلیکون، می‌تواند توجیه‌کننده بخشی از افزایش وزن دانه و در پی آن عملکرد دانه باشد. ضمن آن‌که در همین ترکیب تیماری نیز حداکثر شاخص کلروفیل (۶۴/۲۳) به‌دست آمد (جدول ۷) و همین رخداد می‌تواند یکی از دلایل افزایش میزان آسیمیلاسیون و بالا رفتن نقل و انتقال مواد به دانه و در نهایت افزایش وزن دانه باشد (جدول ۶). در این راستا برخی پژوهشگران اظهار داشتند که افزایش کلروفیل در طول دوره رشد بویژه دوره پر شدن دانه به‌دلیل بهبود شرایط فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش اجزای پر شدن دانه می‌شود (Abadi *et al.*, 2021). همچنین مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین دوره موثر پر شدن دانه (۳۳/۶۵ روز) در کاربرد توام کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانواکسید آهن در شرایط آبیاری کامل و کم‌ترین آن (۲۲/۶۷ روز) تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن به‌دست آمد (جدول ۶). برخی پژوهشگران افزایش وزن دانه و بهبود اجزای پرشدن دانه در کاربرد باکتری‌های محرک رشد و مصرف نانواکسید آهن را (Narimani *et al.*, 2019)، به تولید هورمون‌های رشد و تأمین مقادیر کافی عناصر غذایی نسبت دادند. طاهری و همکاران (Taheri, Ajam Norozi, & Namni, 2000) بیان داشتند بر اثر تنش خشکی، تعادل تغذیه‌ای گیاه بر هم می‌خورد ولی با محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی می‌توان این مواد را به سرعت در دسترس گیاه قرار داد و انجام فرآیند فتوسنتز و کارایی آن را به‌واسطه‌ی افزایش طول دوره پر شدن بذرها و افزایش میزان انتقال مواد به سمت بذرها بهبود بخشید. احمدی نورالدین‌وند و همکاران (Ahmadi Nouraldinvand *et al.*, 2021) افزایش ۶۷ درصدی سرعت پر شدن دانه در کاربرد کودهای زیستی (باکتری‌های محرک رشد و قارچ مایکوریزا) و محلول‌پاشی ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل، نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و نانو سیلیکون در شرایط قطع آبیاری در مرحله تورم غلاف برگ پرچم گزارش کردند.

پروتئین برگ پرچم: برهم‌کنش توام کودهای زیستی، نانواکسیدآهن و سیلیکون و سطوح آبیاری بر پروتئین برگ پرچم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد کودهای زیستی، محلول‌پاشی نانواکسید آهن و نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل، موجب افزایش ۶۴/۷۵٪ محتوای پروتئین برگ پرچم نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی نانوذرات تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن شد (جدول ۷). به‌نظر می‌رسد کاهش محتوای پروتئین برگ تحت شرایط کم‌آبی با واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و کاهش سنتز پروتئین مرتبط باشد (Ramezani, Seghatoleslami, Mousavi, & Sayyari-Zahan, 2013). همچنین محلول‌پاشی نانوسیلیکون از طریق بهبود شاخص کلروفیل (جدول ۷) می‌تواند موجب بهبود محتوای پروتئین برگ پرچم (جدول ۷) شود. در این راستا طلحا و همکاران (Talha *et al.*, 2021) بیان کردند که کاربرد نانوسیلیکون با افزایش محتوای کلروفیل موجب بهبود شرایط فتوسنتزی و افزایش بیشتر محتوای پروتئین گیاه شد. امیری‌نژاد و همکاران (Amirinejad *et al.*, 2015) اظهار داشتند که محلول‌پاشی آهن در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش فتوسنتز و تحرک رشد، به افزایش محتوای پروتئین برگ منجر شد. گلیلی و همکاران (Galili *et al.*, 2001) بهبود درصد پروتئین را در حالت تلقیح بذر با باکتری‌ها به تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و فراهمی آن در زمان پر شدن نسبت دادند. از آن‌جایی‌که نیتروژن در گیاهان به‌صورت پروتئین تکامل می‌یابد و یکی از منابع ساخت نیتروژن، باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌باشند از این‌رو به‌نظر می‌رسد در تلقیح بذر با باکتری، بیش‌ترین پروتئین حاصل شود (Zafari, Ebadi, & Jahanbakhsh Gode Kahriz, 2016).

آنتوسیانین: تاثیر کودهای زیستی، محلول‌پاشی نانواکسیدآهن و نانوسیلیکون، محدودیت آبی و برهم‌کنش توام این عوامل بر محتوای آنتوسیانین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین محتوای آنتوسیانین (۰/۸۱۷ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در کاربرد توام کودهای

زیستی و محلول‌پاشی نانواکسید آهن و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن و کم‌ترین آن (۰/۵۰۲ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش، فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها و سنتز ترکیبات با خاصیت آنتی‌اکسیدانی همانند آنتوسیانین‌ها برای محافظت از گیاه افزایش می‌یابد و فراهمی نیتروژن و دیگر عناصر به‌واسطه کاربرد باکتری‌های محرک رشد می‌تواند بر سنتز متابولیت‌های ثانویه از جمله آنتوسیانین از طریق افزایش فعالیت فنیل آلانین آمونیاک لیاز (PLA) تاثیر بگذارد (Yousefi, Jabbarzadeh, Amiri, Rasouli-Sadaghiani, & Shaygan, 2021)، در این راستا ویتراک و همکاران (Vitrac *et al*., 2000) علت افزایش آنتوسیانین در کاربرد کودهای زیستی را به جذب بهتر منیزیم و کلسیم در حضور این کودها نسبت دادند. از آن‌جایی‌که واحدهای سازنده فلاونوئیدها نیاز مبرم به ATP و NADPH دارند و با توجه به این موضوع که حضور عناصری نظیر نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیب‌های فوق ضروری است، احتمال دارد کاربرد باکتری‌های محرک رشد از طریق جذب کارآمد فسفر و نیتروژن توسط ریشه، موجب افزایش محتوای آنتوسیانین شده است (Hassan, 2009). علاوه بر این، به‌نظر می‌رسد ریشه گیاهان تلقیح‌شده با کودهای زیستی به‌دلیل توانایی در ساخت و ترشح مواد بیولوژیک فعال مانند ویتامین‌های گروه B، اسید نیکوتنیک، اسید پنتوتنیک، بیوتین، اکسین‌ها، جیبرلین‌ها، موجب افزایش محتوای ماده آلی و هیدرات کربن گیاه و در نتیجه افزایش آنتوسیانین شده است (Rodriguez & Fraga, 1999). نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش میزان آنتوسیانین در کاربرد نانواکسید آهن توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (Fathi Amirkhiz, Amini Dehaghi, & Heshmati, 2015b). افزایش مقدار رنگدانه‌های غیرآنزیمی (آنتوسیانین) با کاربرد آهن می‌تواند ضمن جلوگیری از تخریب کلروفیل‌ها، به‌طور غیرمستقیم موجب افزایش آنتوسیانین شود. چرا که آنتوسیانین‌ها از ساختارهای حساسی مانند غشاها حفاظت کرده و از زوال کلروفیل جلوگیری می‌کنند (Leng, Itamura, Yamamura, & Deng, 2000). سیلیکون نیز با پیشگیری از کاهش معنی‌دار آنتوسیانین در گیاه تریتیکاله تحت تنش خشکی، موجب کاهش اثرهای زیان‌بار خشکی بر سیستم فتوسنتزی می‌شود و می‌تواند مقاومت گیاه را نسبت به تنش خشکی افزایش دهد (Shen *et al*., 2010).

شاخص کلروفیل: با افزایش محدودیت آبی، شاخص سبزینگی برگ‌ها کاهش و با کاربرد کودهای زیستی و نانواکسید آهن و نانوسیلیکون مقدار این شاخص افزایش یافت (جدول ۷). حداکثر این شاخص (۶۴/۲۳) در شرایط آبیاری کامل، کاربرد توام کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانواکسیدآهن و سیلیکون مشاهده شد، که از افزایش ۴۵/۱۱٪ نسبت به شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن و عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی برخوردار بود (جدول ۷). به‌نظر می‌رسد در شرایط محدودیت آبی به‌دلیل کاهش میزان رطوبت خاک، تحرک آهن در خاک کاهش یافته و گیاه به‌طور فزاینده‌ای با کمبود آهن مواجه می‌گردد. در چنین شرایطی به‌دلیل نقش آهن در ترکیبات مهم و فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند ساخت کلروفیل و فعالیت برخی آنزیم‌ها، موجب می‌شود که دریافت انرژی نورانی و توسعه کلروپلاست در حضور آهن بهبود یابد (Hadi, Seyed Sharifi, & Namvar, 2016). اورابی و همکاران (Orabi, Salman, & Shalaby, 2010) بیان کردند تنش‌های محیطی از جمله خشکی به‌دلیل افزایش غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد مانند آبسیزیک اسید و اتیلن که تحریک‌کنندۀ آنزیم کلروفیلاز هستند موجب می‌شود کلروفیل بر اثر این آنزیم تجزیه شود. سیدشریفی و نامور (Seyed Sharifi & Namvar, 2016) اثرات مفید تلقیح بذر با باکتری در افزایش محتوای کلروفیل را به در دسترس بودن بالاتر نیتروژن به‌واسطه تثبیت نیتروژن توسط کودهای زیستی نسبت دادند. نریمانی و همکاران (Narimani, Seyed Sharifi, Khalilzadeh, & Aminzadeh, 2018) گزارش کردند که کاربرد نانواکسید آهن منجر به بهبود محتوای کلروفیل حتی در شرایط کشت دیم شد. سیلیکون با قرار گرفتن در آپوپلاست دیواره‌های خارجی سلول‌های اپیدرمی علاوه بر استحکام برگ، موجب تولید بافت ناهمواری در دو سطح برگ می‌شود؛ که این امر موجب به‌تاخیر در پیری در نتیجه افزایش محتوای کلروفیل می‌گردد (Gong, Zhu, Chen, Wang, & Zhang, 2005).

ارتفاع بوته و طول سنبله: بیش‌ترین ارتفاع بوته و طول سنبله (به‌ترتیب ۱۰۳/۲۵ و ۱۴/۷۶ سانتی‌متر) در ترکیب تیماری آبیاری کامل، مصرف توام کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانواکسید آهن و نانوسیلیکون مشاهده شد، این ترکیب تیماری از افزایش (به‌ترتیب ۴۹/۳۱ و ۵۳/۷۵٪) ارتفاع بوته و طول سنبله نسبت به عدم محلول‌پاشی و مصرف کودهای زیستی در شرایط قطع آبیاری در تورم غلاف برگ پرچم (غلاف رفتن) برخوردار بود (جدول ۷). در پژوهشی فاروق و همکاران (Farooq, Wahid, & Lee, 2009) اظهار داشتند که در شرایط محدودیت آبی افزایش رقابت بین بخش هوایی و ریشه در گیاه برای جذب رطوبت، موجب می‌شود گیاه مواد فتوسنتزی بیش‌تری را به ریشه در مقایسه با اندام هوایی تخصیص داده و همین رخداد موجب کاهش اختصاص مواد فتوسنتزی به اندام هوایی و در نهایت موجب کاهش ارتفاع بوته می‌شود. همچنین به‌نظر می‌رسد محدودیت آبی موجب اختلال در فتوسنتز و کاهش تولید مواد فتوسنتزی قابل عرضه به اندام‌های در حال رشد گیاه و نهایتا عدم

دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع می‌شود (Naderi Darbaghshahy et al., 2004). بخشی از افزایش ارتفاع بوته در کاربرد باکتری‌های محرک رشدی می‌تواند ناشی از افزایش محتوای کلروفیل باشد که موجب تولید مواد فتوسنتزی بیشتر و در نتیجه افزایش ارتفاع بوته و طول سنبله می‌شود (Mohammadi Kale Sarlou et al., 2021). به‌نظر می‌رسد مصرف آهن در شرایط کم‌آبیاری، با کمک به افزایش محتوای کلروفیل و فتوسنتز، موجب افزایش تولید مواد پرورده و افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Narimani et al., 2019). مصرف سیلیکون نیز به‌دلیل بهبود توانایی برگ‌ها در جذب نور و ظرفیت فتوسنتزی، ارتفاع بوته را افزایش می‌دهد و از این رو افزایش طول سنبله به‌عنوان بخشی از اندام هوایی در چنین شرایطی قابل‌انتظار است (Gong, Chen, Chen, Wang, & Zhang, 2003).

تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح آبیاری، کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانواکسیدآهن و نانوسیلیکون اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه داشت (جدول ۵). کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانواکسید آهن و سیلیکون در شرایط آبیاری کامل، از افزایش ۷۰/۵۸ و ۶۴/۹۰٪ به‌ترتیب تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن برخوردار بود (جدول ۷). به‌نظر می‌رسد بروز تنش با کاهش طول دوره رشدی گیاه و کمبود تولید و عرضه مواد فتوسنتزی و همچنین افزایش رقابت درون بوته‌ای موجب ریزش گل‌ها و کاهش تعداد دانه در سنبله شده است. فرمهینی و همکاران (Farmahini, Mirzakhani, & Sajedi, 2014) اظهار داشتند که در شرایط محدودیت آبی، میزان رشد رویشی و مواد فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد. این شرایط موجب کاهش گرده‌افشانی گل‌ها و کاهش تبدیل گل به دانه می‌شود. به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانواکسید آهن و نانوسیلیکون در شرایط محدودیت آبی با افزایش شاخص کلروفیل (جدول ۷) و بهبود اجزای پرشدن دانه (جدول ۶) موجب افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه (جدول ۷) شده است. عبادی و همکاران (Abadi et al., 2021) افزایش ۴۵/۹۶٪ تعداد دانه در سنبله جو را تحت تاثیر باکتری محرک رشد برآورد نمودند.

جدول ٤- تجزیه واریانس تاثیر سطوح آبیاری، کودهای زیستی، نانواکسید آهن و نانوسیلیکون بر آنتوسیانین و اجزای پرشدن دانه تریتیکاله
Table 4- Analysis of variance of the effect of irrigation levels, biofertilizers, nano iron oxide, and nano silicon on the anthocyanin and grain filling components of triticale

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean Square) حداکثر وزن دانه Maximum grain weight	سرعت پرشدن دانه Grain filling rate	دوره موثر پرشدن دانه Effective grain filling period	طول دوره‌ی پرشدن دانه Grain filling period	آنتوسیانین Anthocyanin
تکرار Replication	2	0.000308**	0.0000063**	854.648**	2580.512**	0.8475**
آبیاری Irrigation (I)	2	0.001314**	0.00000001**	341.487**	78.539**	0.2049**
کودهای زیستی Bio fertilizers (B)	3	0.000553**	0.00000002**	122.163**	81.864**	0.0958**
محلول‌پاشی نانوذرات Foliar application of nanoparticles (N)	3	0.000173**	0.00000001**	32.332**	36.011**	0.0642**
I×B	6	0.000024**	0.00000001ns	8.328**	8.544**	0.0027**
I×N	6	0.000008ns	0.00000001*	3.825*	4.120ns	0.0022**
B×N	9	0.000019**	0.00000001**	6.494**	5.114*	0.0050**
I×B×N	18	0.000009**	0.00000001**	4.883**	4.958**	0.0027**
خطا Error	94	0.0000045	0.00000000	1.52	2.22	0.00081
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	4.3	2.8	4.4	4.1	4.3

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

جدول ۵- تجزیه واریانس تاثیر سطوح آبیاری، کودهای زیستی، نانواکسید آهن و نانوسیلیکون بر شاخص کلروفیل، عملکرد و اجزای عملکرد تریتیکاله

Table 5- Analysis of variance of the effect of irrigation levels, biofertilizers, nano iron oxide, and nano silicon on chlorophyll index, yield, and yield components of triticale

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean square)						
		پروتئین برگ پرچم Flag leaf protein	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	وزن هزار دانه 1000 Grains weight	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	طول سنبله Spike length	ارتفاع بوته Plant height	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Replication	2	45.566**	1122.45**	3840.00**	1267.00**	83.736**	15220.56**	9294.906**
آبیاری Irrigation (I)	2	62.621**	726.92**	1037.18**	1133.25**	23.106**	2267.59**	52308.475**
کودهای زیستی Bio Fertilizers (B)	3	51.312**	602.25**	619.34**	612.80**	10.571**	1296.91**	5558.409**
محلول‌پاشی نانوذرات Foliar application of nanoparticles (N)	3	11.422**	199.23**	383.14**	440.04**	9.118**	703.60**	8358.028**
I×B	6	0.948**	6.44^{ns}	22.13**	31.52**	0.541^{ns}	132.53**	2324.678**
I×N	6	0.468^{ns}	17.44*	5.53^{ns}	9.73^{ns}	0.179^{ns}	22.03^{ns}	1610.903*
B×N	9	0.660*	22.15**	13.98**	14.38**	0.641*	27.67^{ns}	2495.992**
I×B×N	18	0.518*	13.85*	7.91*	9.76*	0.508*	25.90*	2383.894**
خطا Error	94	0.295	8.19	4.49	5.70	0.301	14.92	764.00
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	4.8	5.2	4.7	5.1	4.6	4.3	5.1

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

به‌نظر می‌رسد کاربرد عناصر ریزمغذی با توجه به نقش آن‌ها در تشکیل دانه، افزایش دوام سطح برگ، بهبود فتوسنتز و تسهیم بهتر مواد فتوسنتزی به دانه (Movahedy Dehnavy & Modarres Sanavy, 2009) به‌ویژه در کاربرد به شکل نانو ذرات به‌دلیل انحلال‌پذیری بیشتر و قابلیت نفوذ آسان‌تر در غشای سلولی، توانسته است از طریق تأثیر بر رشد و انتقال بهتر مواد فتوسنتزی، موجب افزایش وزن هزار دانه شود. نریمانی و همکاران (Narimani *et al.*, 2018) افزایش تعداد دانه در سنبله در شرایط محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانواکسید آهن نسبت به شرایط بدون محلول‌پاشی گزارش کردند. اپستین و بلوم (Epstein & Bloom, 2005) اظهار نمودند کاربرد سیلیکون تحت شرایط تنش خشکی با انتقال مواد فتوسنتزی بیش‌تر به اندام زایشی، موجب افزایش تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه و در نهایت عملکرد دانه گندم می‌شود. فلاح و همکاران (Fallah, Vispers, & Alejar, 2004) اظهار داشتند که سیلیکون از طریق کاهش اثر تنش خشکی، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبلچه در سنبله برنج را افزایش داد.

عملکرد دانه: نتایج نشان داد که اثر ترکیب تیماری آبیاری، نانواکسید آهن نانوسیلیکون و کودهای زیستی بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد توام کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانوذرات در شرایط آبیاری کامل از بالاترین عملکرد دانه (۶۰۴/۷۳ گرم در مترمربع) برخوردار بود، طوری‌که این ترکیب تیماری از افزایش ۴۳/۲۸٪ عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی و در آبیاری تا مرحله غلاف رفتن برخوردار بود (جدول ۷). از آن‌جایی که عملکرد دانه تابعی از اجزای عملکرد دانه است، به‌نظر می‌رسد افزایش معنی‌دار این صفات تحت تاثیر ترکیب تیماری آبیاری کامل، کاربرد توام کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانوذرات موجب افزایش عملکرد دانه شده است (جدول ۷). به بیانی دیگر بخشی از تغییرات در روند عملکرد دانه را می‌توان به سرعت و طول دوره پرشدن دانه نسبت داد. بدین صورت که در حالت آبیاری کامل، سرعت و طول دوره پرشدن دانه افزایش یافت و این رخداد موجب شد که مواد بیشتری در دانه‌ها ذخیره شده و از این طریق موجب افزایش وزن دانه و عملکرد دانه شود. در شرایط قطع آبیاری و آبیاری کامل، بالا بودن شاخص کلروفیل (جدول ۷) در حالت کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانوذرات نیز می‌تواند بخشی از افزایش عملکرد را توصیف نماید.

جدول ٦- مقایسه میانگین تاثیر سطوح آبیاری، کودهای زیستی، نانواکسید آهن و نانوسیلیکون بر آنتوسیانین و اجزای پرشدن دانه تریتیکاله

Table 6- Means comparison of the effect of irrigation levels, biofertilizers, nano iron oxide, and nano silicon on the anthocyanin and grain-filling components of triticale

ترکیب تیماری Treatments	آنتوسیانین Anthocyanin (μg.g F.W)	حداکثر وزن دانه Maximum grain weight (g)	سرعت پرشدن دانه Grain filling rate (g.day^{-1})	دوره موثر پرشدن دانه Effective grain filling period (day)	طول دوره‌ی پرشدن دانه Grain filling period (day)	معادله برازش‌شده The equation is fitted
$I_0\times B_0\times N_0$	0.502	0.0496	0.00180	28.13	37.00	y=0.0018x-0.0172
$I_0\times B_1\times N_0$	0.543	0.0532	0.00183	29.45	37.47	y=0.00183x-0.0179
$I_0\times B_2\times N_0$	0.527	0.0508	0.00183	28.29	36.93	y=0.00183x-0.0175
$I_0\times B_3\times N_0$	0.526	0.0543	0.00182	30.33	37.79	y=0.00182x-0.0181
$I_0\times B_0\times N_1$	0.559	0.0448	0.00183	25.04	34.21	y=0.00183x-0.0185
$I_0\times B_1\times N_1$	0.565	0.0566	0.00186	31.07	37.78	y=0.00186x-0.0156
$I_0\times B_2\times N_1$	0.539	0.0582	0.00182	32.63	35.66	y=0.00182x-0.0161
$I_0\times B_3\times N_1$	0.726	0.0590	0.00179	33.65	40.36	y=0.00179x-0.0165
$I_0\times B_0\times N_2$	0.535	0.0486	0.00178	27.88	36.80	y=0.00178x-0.0169
$I_0\times B_1\times N_2$	0.624	0.0581	0.0019	31.17	36.08	y=0.0019x-0.016
$I_0\times B_2\times N_2$	0.591	0.0570	0.00180	32.31	40.49	y=0.00180x-0.0158
$I_0\times B_3\times N_2$	0.743	0.0589	0.00185	32.64	38.28	y=0.00185x-0.0194
$I_0\times B_0\times N_3$	0.543	0.0545	0.00180	30.86	38.31	y=0.00180x-0.0181
$I_0\times B_1\times N_3$	0.612	0.0594	0.00186	32.57	40.73	y=0.00186x-0.0165
$I_0\times B_2\times N_3$	0.686	0.0586	0.00183	32.66	40.73	y=0.00183x-0.0162
$I_0\times B_3\times N_3$	0.730	0.0604	0.00203	30.39	40.06	y=0.00203x-0.0197
$I_1\times B_0\times N_0$	0.574	0.0439	0.00183	24.54	34.10	y=0.00183x-0.0186
$I_1\times B_1\times N_0$	0.602	0.0452	0.00181	25.53	34.33	y=0.00181x-0.0188
$I_1\times B_2\times N_0$	0.601	0.0460	0.00186	25.27	34.49	y=0.00186x-0.019
$I_1\times B_3\times N_0$	0.638	0.0491	0.00179	28.02	36.51	y=0.00179x-0.0172
$I_1\times B_0\times N_1$	0.582	0.0443	0.00183	24.79	34.07	y=0.00183x-0.0186
$I_1\times B_1\times N_1$	0.709	0.0501	0.00181	28.26	34.29	y=0.00181x-0.0174
$I_1\times B_2\times N_1$	0.712	0.0526	0.00185	28.99	37.69	y=0.00185x-0.0177
$I_1\times B_3\times N_1$	0.697	0.0556	0.00184	30.71	37.75	0.00184x-0.0154
$I_1\times B_0\times N_2$	0.611	0.0454	0.00186	24.96	34.32	y=0.00186x-0.019
$I_1\times B_1\times N_2$	0.702	0.0491	0.00182	27.32	36.29	y=0.00182x-0.0174
$I_1\times B_2\times N_2$	0.661	0.0503	0.00182	28.24	37.14	y=0.00182x-0.0175
$I_1\times B_3\times N_2$	0.762	0.0564	0.00193	29.89	40.50	y=0.00193x-0.0155
$I_1\times B_0\times N_3$	0.654	0.0477	0.00177	27.55	36.48	y=0.00177x-0.0169
$I_1\times B_1\times N_3$	0.698	0.0515	0.00183	28.71	37.57	y=0.00183x-0.0176
$I_1\times B_2\times N_3$	0.720	0.0508	0.00181	28.59	39.12	y=0.00181x-0.018
$I_1\times B_3\times N_3$	0.754	0.0575	0.00185	31.60	38.03	y=0.00185x-0.0187
$I_2\times B_0\times N_0$	0.646	0.0387	0.00165	24.00	32.77	y=0.00165x-0.0172
$I_2\times B_1\times N_0$	0.677	0.0420	0.00179	24.13	34.46	y=0.00179x-0.015
$I_2\times B_2\times N_0$	0.693	0.0429	0.00180	24.27	34.20	y=0.00180x-0.0182
$I_2\times B_3\times N_0$	0.723	0.0483	0.00183	26.92	38.95	y=0.00183x-0.0172
$I_2\times B_0\times N_1$	0.667	0.0399	0.00175	23.35	32.91	y=0.00175x-0.0179
$I_2\times B_1\times N_1$	0.757	0.0415	0.00180	23.64	36.77	y=0.00180x-0.0185
$I_2\times B_2\times N_1$	0.737	0.0459	0.00187	25.08	34.38	y=0.00187x-0.0192
$I_2\times B_3\times N_1$	0.804	0.0482	0.00178	27.64	36.55	y=0.00178x-0.0171
$I_2\times B_0\times N_2$	0.641	0.0403	0.00182	22.72	32.96	y=0.00182x-0.018
$I_2\times B_1\times N_2$	0.720	0.0469	0.00184	29.67	35.57	y=0.00184x-0.0188
$I_2\times B_2\times N_2$	0.740	0.0409	0.00184	23.32	35.54	y=0.00184x-0.0183
$I_2\times B_3\times N_2$	0.790	0.0521	0.00179	24.32	38.57	y=0.00179x-0.0171
$I_2\times B_0\times N_3$	0.682	0.0420	0.00185	26.42	33.37	y=0.00185x-0.0184
$I_2\times B_1\times N_3$	0.759	0.0432	0.00182	24.32	38.44	y=0.00182x-0.0186
$I_2\times B_2\times N_3$	0.789	0.0470	0.00182	26.42	34.66	y=0.00182x-0.0196
$I_2\times B_3\times N_3$	0.817	0.0551	0.0019	29.59	38.22	y=0.0019x-0.0182
LSD	0.045	0.0034	0.0001	1.99	2.41	-

I_0، I_1 و I_2 به‌ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله ظهور سنبله و تورم غلاف برگ پرچم. B_0، B_1، B_2 و B_3 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد سودوموناس، کاربرد آزوسپریلیوم و کاربرد توام سودوموناس و آزوسپریلیوم. N_0، N_1، N_2 و N_3 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی نانواکسید آهن و محلول‌پاشی نانوسیلیکون.
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

I_0, I_1, and I_2 indicate full irrigation, irrigation withholding at the heading, and booting stage respectively. B_0, B_1, B_2, and B_3 are no application of biofertilizers, application of pseudomonas, azosprilium, both application azosprilium and pseudomonas. N_0, N_1, and N_2 are no foliar applications, nano iron oxide foliar applications, nano silicon foliar applications, and nano iron-silicon foliar applications. Means with similar letters in each column are not significantly different based on the LSD test.

جدول ۷- مقایسه میانگین تاثیر سطوح آبیاری، کودهای زیستی، نانواکسید آهن و نانوسیلیکون بر شاخص کلروفیل، عملکرد و اجزای عملکرد

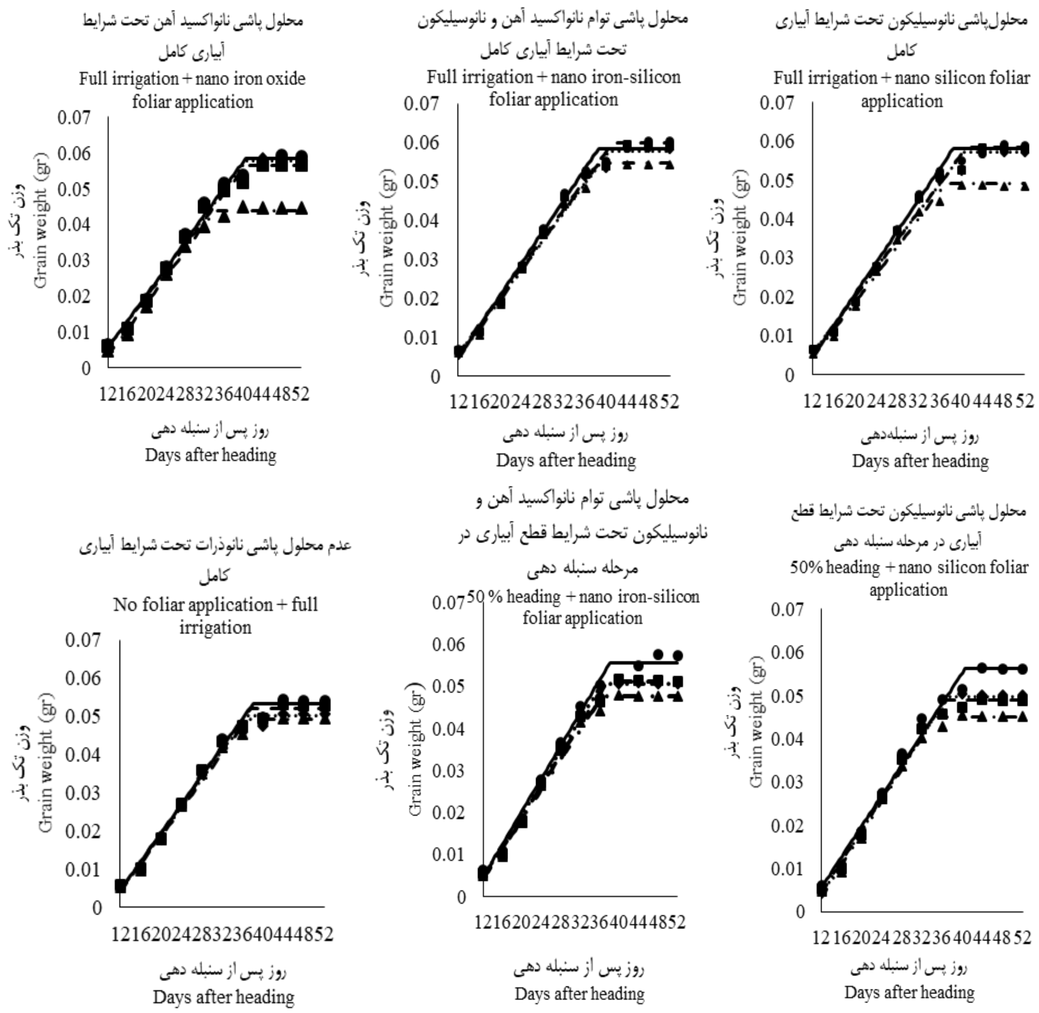
Table 7- Means comparison of the effect of irrigation levels, biofertilizers, nano iron oxide and nano silicon on chlorophyll index, yield and yield components of triticale

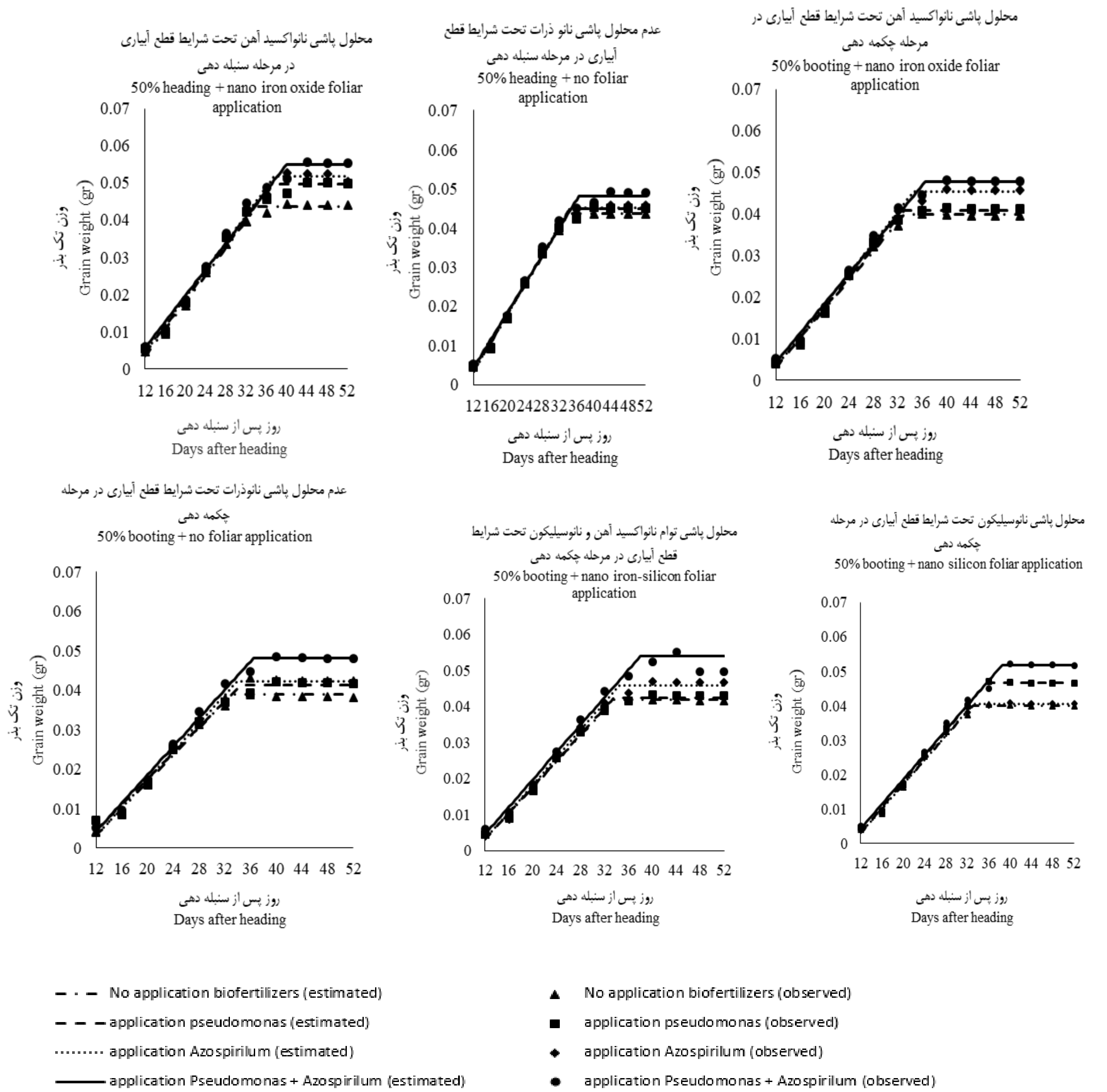
ترکیب تیماری **Treatments**	شاخص کلروفیل **Chlorophyll index**	پروتئین برگ پرچم **Flag leaf protein (%)**	وزن هزار دانه **1000 Grains weight (g)**	تعداد دانه در سنبله **Number of grains per spike**	طول سنبله **Spike length (cm)**	ارتفاع بوته **Plant height (cm)**	عملکرد دانه **Grain yield ($g.m^{-2}$)**
$I_0 \times B_0 \times N_0$	53.90	10.68	42.85	45.33	11.58	88.75	528.80
$I_0 \times B_1 \times N_0$	57.36	12.09	46.03	50	12.06	91.85	564.58
$I_0 \times B_2 \times N_0$	57.46	11.81	47.28	48.33	12.13	93.40	539.35
$I_0 \times B_3 \times N_0$	61.63	13.22	48.27	51	12.00	87.47	570.10
$I_0 \times B_0 \times N_1$	55.13	10.96	44.57	47.33	11.76	92.45	550.25
$I_0 \times B_1 \times N_1$	60.13	12.37	51.07	52	12.96	97.25	586.00
$I_0 \times B_2 \times N_1$	57.56	12.37	48.15	55.33	13.16	100.60	578.55
$I_0 \times B_3 \times N_1$	63.00	14.07	54.65	56.66	12.68	96.80	588.81
$I_0 \times B_0 \times N_2$	50.93	11.25	45.65	48.33	11.91	90.10	562.56
$I_0 \times B_1 \times N_2$	54.93	12.66	54.61	54	12.80	99.25	566.10
$I_0 \times B_2 \times N_2$	61.00	12.94	49.54	47.66	12.76	98.56	583.15
$I_0 \times B_3 \times N_2$	62.83	13.78	53.45	56	13.56	102.30	593.76
$I_0 \times B_0 \times N_3$	55.36	11.25	49.23	52	12.16	93.60	573.30
$I_0 \times B_1 \times N_3$	63.23	13.78	53.32	56.66	13.36	102.50	596.96
$I_0 \times B_2 \times N_3$	62.33	13.50	52.43	56	13.26	101.50	590.43
$I_0 \times B_3 \times N_3$	64.23	14.35	55.97	58	14.76	103.25	604.73
$I_1 \times B_0 \times N_0$	46.10	9.55	35.32	37.33	10.86	76.25	470.73
$I_1 \times B_1 \times N_0$	46.83	10.12	37.24	38.66	10.96	80.55	491.40
$I_1 \times B_2 \times N_0$	50.43	9.55	40.27	42.33	11.06	83.10	501.30
$I_1 \times B_3 \times N_0$	59.66	12.66	42.19	44.66	11.71	94.35	507.80
$I_1 \times B_0 \times N_1$	48.96	9.55	36.56	38.33	10.96	78.35	488.30
$I_1 \times B_1 \times N_1$	53.10	10.96	44.31	41.33	11.21	87.15	526.68
$I_1 \times B_2 \times N_1$	55.76	10.40	43.57	49.33	11.26	85.43	520.01
$I_1 \times B_3 \times N_1$	60.70	11.89	51.29	53.33	12.83	99	554.85
$I_1 \times B_0 \times N_2$	52.13	9.84	37.56	39.66	11.08	81.42	496.16
$I_1 \times B_1 \times N_2$	52.16	11.53	39.21	46.33	11.96	88.13	523.48
$I_1 \times B_2 \times N_2$	54.20	10.68	45.46	47.33	11.56	88.58	532.96
$I_1 \times B_3 \times N_2$	56.10	13.22	52.09	54.33	12.40	99.75	546.30
$I_1 \times B_0 \times N_3$	48.73	9.84	41.56	44.33	11.76	82.50	515.08
$I_1 \times B_1 \times N_3$	56.86	12.09	48.34	50.66	11.16	91.85	563.11
$I_1 \times B_2 \times N_3$	57.96	11.81	50.12	52.33	12.06	96.50	535.76
$I_1 \times B_3 \times N_3$	61.86	13.50	52.76	55.33	13.16	100.65	575.98
$I_2 \times B_0 \times N_0$	44.26	8.71	33.94	34	9.60	69.15	422.05
$I_2 \times B_1 \times N_0$	45.76	9.27	36.12	38	10.91	79.40	450.71
$I_2 \times B_2 \times N_0$	48.06	9.84	35.76	36.66	11.48	72.15	435.86
$I_2 \times B_3 \times N_0$	49.50	10.12	40.41	42.66	10.76	83.48	454.78
$I_2 \times B_0 \times N_1$	45.03	8.99	34.08	35.66	10.46	71.45	439.41
$I_2 \times B_1 \times N_1$	50.96	10.04	39.35	43.33	11.35	86.20	480.10
$I_2 \times B_2 \times N_1$	50.20	10.40	41.32	39.66	11.48	81.65	463.06
$I_2 \times B_3 \times N_1$	57.16	12.66	47.86	50.66	12.06	94.30	493.33
$I_2 \times B_0 \times N_2$	50.36	8.99	34.18	41	11.31	73.65	444.68
$I_2 \times B_1 \times N_2$	47.26	10.40	43.09	41	11.18	74.90	466.28
$I_2 \times B_2 \times N_2$	51.36	10.12	41.85	43.66	11.11	86.35	475.38
$I_2 \times B_3 \times N_2$	59.00	11.81	46.37	49	12.21	90.82	511.38
$I_2 \times B_0 \times N_3$	46.50	9.27	38.42	40.33	11.61	77.28	458.26
$I_2 \times B_1 \times N_3$	55.36	10.40	43.54	46	11.98	89.24	489.55
$I_2 \times B_2 \times N_3$	56.36	11.53	44.89	46.66	11.70	92.50	504.51
$I_2 \times B_3 \times N_3$	60.50	12.66	50.32	53	12.80	98	542.71
LSD	4.64	0.881	3.43	3.87	0.889	6.26	18.15

I_0، I_1 و I_2 به‌ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله ظهور سنبله و تورم غلاف برگ پرچم. B_0، B_1، B_2 و B_3 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد سودوموناس، کاربرد آزوسپریلیوم و کاربرد توام سودوموناس و آزوسپریلیوم. N_0، N_1، N_2 و N_3 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی نانواکسید آهن و محلول‌پاشی نانوسیلیکون.
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

I_0, I_1, and I_2 indicate full irrigation, irrigation withholding at the heading, and booting stage respectively. B_0, B_1, B_2, and B_3 are no application of biofertilizers, application of pseudomonas, azosprilium, both application azosprilium and pseudomonas. N_0, N_1, and N_2 are no foliar applications, nano iron oxide foliar applications, nano silicon foliar applications, and nano iron-silicon foliar applications. Means with similar letters in each column are not significantly different based on the LSD test.

بخشی از افزایش عملکرد دانه به‌واسطه تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد را می‌توان به افزایش شاخص کلروفیل (جدول ۷) و بهبود اجزای پر شدن دانه (سرعت، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه) (جدول ۶) نسبت داد که ضمن افزایش وزن و تعداد دانه (جدول ۷)، موجب افزایش عملکرد دانه (جدول ۷) شده است. در این راستا محمدی کله‌سرلو و همکاران (Mohammadi Kale Sarlou *et al.*, 2021) اظهار داشتند که کاربرد باکتری محرک رشد از طریق افزایش محتوای کلروفیل، افزایش تعداد و وزن دانه موجب بهبود سرعت و طول دوره پر شدن و عملکرد گیاه چاندم تحت شرایط تنش شد. از آن‌جایی‌که آهن در ساخت کلروفیل و انتقال الکترون در فوتسنتز نقش حیاتی دارد. با افزایش آهن در برگ، میزان کلروفیل برگ افزایش یافته و فعالیت فوتسنتزی بیشتر شده و با بهبود سرعت و طول دوره پر شدن دانه موجب افزایش عملکرد تحت شرایط محدودیت آبی شده است (Narimani *et al.*, 2019). بخشی از افزایش عملکرد دانه در محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط محدودیت آبی را می‌توان به اثر این عنصر در بهبود شاخص سبزینگی نسبت داد. اپستین و بلوم (Epstein & Bloom, 2005)، بیان نمودند کاربرد سیلیکون تحت شرایط تنش آبی از طریق افزایش جذب عناصر، میزان فوتسنتز را افزایش داده و سبب انتقال مواد فوتسنتزی بیشتر به اندام‌های زایشی شده که افزایش تعداد سنبله در واحد سطح، دانه در سنبله وزن هزاردانه و در نهایت عملکرد دانه را به همراه دارد.





شکل ۱- تاثیر سطوح آبیاری، کودهای زیستی، نانواکسید آهن و نانوسیلیکون بر پرشدن دانه تریتیکاله

Figure 1- The effect of irrigation levels, biofertilizers, and nano iron- silicon oxide on grain filling of triticale

نتیجه‌گیری

کاربرد توام کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانواکسید آهن و سیلیکون در شرایط آبیاری کامل با افزایش محتوای کلروفیل موجب افزایش حداکثر وزن دانه، طول دوره و دوره موثر پرشدن دانه تریتیکاله شد. همچنین این ترکیب تیماری موجب افزایش ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، پروتئین برگ پرچم و در نهایت عملکرد دانه تریتیکاله نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانواکسید آهن و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن شد. به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانوذرات با تعدیل اثرات خشکی می‌توانند در بهبود عملکرد، سرعت و طول دوره پرشدن دانه موثر واقع شوند.

References

1. Abadi, N., Seyed Sharifi, R., Narimani, H., & Khalilzadeh, R. (2021). Effects of supplementary irrigation and application of mycorrhiza and azetobacter on grain filling components of rain fed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*, *16*(61), 64-79. (in Persian). https://doi.org/10.30495/iper.2021.679523
2. Abdelaal, K. A. A., EL-Shawy, E. A., Hafez, Y. M., Abdel-Dayem, S. M., Chidya, R. C. G., Saneoka, H., & ELSabagh, A. (2020). Nano-Silver and non-traditional compounds mitigate the adverse effects of net blotch disease of barley in correlation with up-regulation of antioxidant enzymes. *Pakistan Journal of Botany*, *52*, 1065-1072. https://doi.org/10.30848/PJB2020-3(13)
3. Ahmadi Nouraldinvand, F., Seyedsharifi, R., Siadat, S. A., & Khalilzadeh, R. (2021). Effects of nano silicon concentrations and ibo-fertilizer on yield and grain filling components of wheat in different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 91-105. (in Persian). https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.67258.0
4. AL Kahtani, M. D. F., Fouda, A., Attia, K., Al-Otaibi, F., Eid, A. M., Ewais, E., Hijri, M., St-Arnaud, M., Hassan, S., Khan, N., et al., (2020). Isolation and Characterization of Plant Growth Promoting Endophytic Bacteria from Desert Plants and Their Application as Bioinoculants for Sustainable Agriculture. *Agronomy*, *10*, 1325. https://doi.org/10.3390/agronomy10091325
5. Amirinejad, M., Akbari, G. A., Bagherizadeh, A., Allahdadi, I., Shahbazi, M., & Naimi, M. (2015). Effects of drought stress and foliar application of zinc and iron on some biochemical parameters of cumin. *Journal of Crops Improvement*, *17*(4), 866-855. (in Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2015.55136
6. Ansari, S., Mirmohammady Maibody, S. A. M., Arzani, A., & Golkar, P. (2018). Evaluation of Different Triticale (X Triticosecale Wittmack) Genotypes for Agronomic and Qualitative Characters. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *4*(15), 872-884. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v15i4.55994
7. Babaeian, M., Piri, I., Tavassoli, A., Esmaeilianand, Y., & Gholami, H. (2011). Effect of water stress and micronutrients (Fe, Zn and Mn) on chlorophyll fluorescence, leaf chlorophyll content and sunflower nutrient uptake in sistan region. *African Journal of Agricultural Research*, *6*, 3526-3531. https://doi.org/10.5897/AJAR10.1142
8. Baveye, P. C., Schnee, L. S., Boivin, P., Laba, M., & Radulovich, R. (2020). Soil organic matter research and climate change: merely re-storing carbon versus restoring soil functions. *Frontiers in Environmental Science*, *8*, 161-169. https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.579904
9. Bezabih, A., Girmay, G., & Lakewu, A. (2019). Performance of triticale varieties for the marginal highlands of Wag-Lasta, Ethiopia. *Cogent Food and Agriculture*, *5*, 1-11. https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1574109
10. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*, 248. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999
11. Ellis, R. H, & Pieta-Filho, C. (1992). The development of seed quality spring and winter cultivars of barley and wheat. *Seed Science Research*, *2*, 19-25. https://doi.org/10.1017/S0960258500001057
12. Eneji, A. E., Inanaga, S., Muranaka, S., Li, J., Hattori, T., An, P., & Tsuji, W. (2008). Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*, *31*(2), 355-365. https://doi.org/10.1080/01904160801894913
13. Epstein, E., & Bloom, A. (2005). Mineral Nutrition of plant: principles and perspectives. Ed2, Sinaver Associates, Sunderland, MA.
14. Fahad, S., Ahmad, M., Akbar Anjum, M., & Hussain, S. (2014). The effect of micronutrients (B, Zn and Fe) foliar application on the growth, flowering and corm production of gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L.) in calcareous soils. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *16*, 1671-1682. http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2014.16.7.10.6
15. Fallah, A., Visperas, R. M., & Alejar, A. A. (2004). The interactive effect of silicon and spikelet filling in rice (*Oryza sativa* L.). *The Philippine Agricultural Scientist*, *87*, 174-176.
16. FAO. (2017). Food and agriculture organization of the united nation. Quarterly bulletin of Statistics. Remote, Italy.
17. Farmahini, M., Mirzakhani, M., & Sajedi, N. (2014). Effect of water stress and absorbent materials application on yield and components yield of fall wheat. *Science-Research Quarterly Journal New Finding in Agriculture*, *7*(2), 263-274.
18. Farooq, M., Wahid, A., & Lee, D. J. (2009). Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiologiae Plantarum*, *31*, 937-945.
19. Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M., & Heshmati, S. (2015a). Effect of iron application methods on grain yield, yield components, oil content and fatty acids profile of spring safflower cv. Goldasht under deficit irrigation conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *16*(4), 308-321. (in Persian). http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1393.16.4.4.5
20. Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M., & Heshmati, S. (2015b). Study the effect of iron chelate on chlorophyll

content, photochemical efficiency and some biochemical traits in Safflower under deficit irrigation condition. *Iranian Journal of Field Crop Science, 46*(1), 137-145. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2015.54053
21. Galavi, M., Ramroudi, M., & Tavassoli, A. (2012). Effect of micronutrients foliar application on yield and seed oil content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *African Journal of Agricultural Research, 7*(3), 482-486. https://doi.org/10.5897/AJAR11.1323
22. Galili, G., Tang, G., Zhu, X., & Gakiere, B. (2001). Lysine catabolism: a stress and development superregulated metabolic pathway. *Current Opinion in Plant Biology, 4,* 261-266. https://doi.org/10.1016/S1369-5266(00)00170-9
23. Gong, H., Chen, K., Chen, G., Wang, S., & Zhang, C. (2003). Effects of silicon on growth of wheat under drought. *Journal Plant Nutrition*, *26*, 1055-1063. https://doi.org/10.1081/PLN-120020075
24. Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S., & Zhang, C. (2005). Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in post under drought. *Plant Science, 169*, 313-321. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.02.023
25. Hadi, H., Seyed Sharifi, R., & Namvar, A. (2016). *Phytoprotectants and Abiotic Stresses*. Urmia University press. 342 pp. (in Persian).
26. Hassan, F. A. S. (2009). Response of *Hibiscus sabdariffa* L. plant to some biofertilization treatments. Annals of Agricultural Science, 54, 437-446.
27. Kheirizadeh Arough, Y. (2016). *Effects of nano zinc oxide foliar application, arbuscular mycorrhizal fungus and free living nitrogen fixing bacteria on yield and some physiological traits of Triticale under salinity and water limitation condition*. PhD Thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
28. Leng, P., Itamura, H., Yamamura, H., & Deng, X. (2000). Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation. *Scientia Horticulturae*, *83*, 43-50. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00065-5
29. Mazaherinia, S., Astaraei, A. R., Fotovat, A., & Monshi, A. (2010). Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. *World Applied Sciences Journal*, *7*(1), 36-40.
30. Mita, S., Murano, N., Akaike, M., & Nakamura, K. (1997). Mutants of Arabidopsis thaliana with pleiotropic effects on the expression of the gene for beta-amylase and on the accumulation of anthocyanin those are inducible by sugars. Plant Journal, 11, 841-851. https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.1997.11040841.x
31. Mohammadi Kale Sarlou, S., Seyed Sharifi, R., Sedghei, M., Narimani, H., & Khalilzadeh, R. (2021). Effects of salinity, vermicompost, humic acid and seed Iinoculation with flavobacterim on grain filling of triticale. *Journal of Agricultural Science and Sustainable, 31*(2), 250-269. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/saps.2021.13108
32. Movahedy Dehnavy, M., & Modarres Sanavy, S. A. M. (2009). Effect of Zn and Mn micronutrients on three winter safflowers under drought stress in Isfahan. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 13*(2), 1-10. (in Persian).
33. Naderi Darbaghshahy, M. R., Noor Mohammadi, Gh., Majidi, A., Darvish, F., Shirani Rad, A. M., & Madani, H. (2004). Effects of drought stress and plant density on ecophysiological traits of three safflower lines in summer planting in Isfahan Seed. *Journal of Plant Production*, *20*, 281-296. https://doi.org/10.22092/spij.2017.110584
34. Naderi, M. R., & Abedi, A. (2012), Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. *Nanotechnology Journal*, *11*(1), 18-26.
35. Narimani, H., Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R., & Aminzadeh, G. (2018). Effects of nano iron oxide on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under rain fed and supplementary irrigation conditions. *Iranian journal of Plant Biology*, *3*(10), 21-40. (in Persian). https://doi.org/10.22108/ijpb.2018.110895.1098
36. Narimani, H., Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R., & Aminzadeh, G. (2019). Effect of supplemental irrigation and nano iron oxide on chlorophyll content and filling components of wheat (*Triticunm aestivum* L.) under rainfed conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(3), 735-746. (in Persian). https://doi.org/10.22077/escs.2019.1478.1327
37. Orabi, S. A., Salman, S. R., & Shalaby, A. F. (2010). Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. *World Journal of Agricultural Sciences*, *6*, 252-259.
38. Qayyum, A., Al Ayoubi, S., Sher, A., Bibi, Y., Ahmad, S., Shen, Z., & Jenks, M. A. (2021). Improvement in drought tolerance in bread wheat is related to an improvement in osmolyte production, antioxidant enzyme activities, and gaseous exchange. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *28*, 5238-5249. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.05.040
39. Ramezani, M., Seghatoleslami, M., Mousavi, G., & Sayyari-Zahan, M. H. (2013). Effect of salinity and foliar application of iron and zinc on yield and water use efficiency of ajowan (*Carum copticum*). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 7*, 421-426. https://doi.org/10.22077/escs.2017.634
40. Rodriguez, H., & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances, 17*, 319-339. https://doi.org/10.1016/S0734-9750(99)00014-2

41. Ronanini, D., Savin, R., & Hal, A. J. (2004). Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. *Field Crop Research*, *83*, 79-90. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00064-9
42. Schutz, M., & Fangmeir, E. (2001). Growth and yield responses of spring wheat to elevated CO_2 and water limitation. *Environmental Pollution*, 114, 187-194. https://doi.org/10.1016/s0269-7491(00)00215-3
43. Seyed Sharifi, R., & Namvar, A. (2016). *Biofertilizers in Agronomy*. University of Mohaghegh Ardebili Press. Iran. Ardebil. (in Persian).
44. Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A. E., & Li, J. (2010). Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean antioxidative systems in two cottons. *General and Applied Plant Physiology, 33*, 221-234. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.04.011
45. Taheri, G., Ajam Norozi, H., & Namni, M. (2000). Study of time and type of micronutrient on phenology, yield and yield components of soybean as the second crop in Golestan province. *Journal of Plant Ecophysiology, 2*, 56-46. (in Persian with English abstract).
46. Talha, M., Abdul, S., Ahmad, S., Sami, Ul-A., Muhammad, I., Muhammad, I., Madiha, B., & Mumtaz, C. (2021). Exogenous application of silicon improves the performance of wheat under terminal heat stress by triggering physio-biochemical mechanisms, Scientific reports 23170 (11).
47. Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, V. P., Prasad, S. M., Chauhan, D. K., & Dubey, N. K. (2016). Silicon nanoparticles more efficiently alleviate arsenate toxicity than silicon in maize cultiver and hybrid differing in Arsenate tolerance. *Frontiers in Environmental Science, 46*(4), 1-14. https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00046
48. Vitrac, X., Larronde, F., Krisa, S., Decendit, A., Deffieux, G., & Mérillon, J. M. (2000). Sugar sensing and Ca^{2+} calmodulin requirement in Vitis vinifera cells producing anthocyanins. *Phytochemistry*, *53*, 659-665. https://doi.org/10.1016/s0031-9422(99)00620-2
49. Yousefi, F., Jabbarzadeh, Z., Amiri, J., Rasouli-Sadaghiani, M. H., & Shaygan, A. (2021). Foliar application of polyamines improves some morphological and physiological characteristics of rose. *Folia Horticulturae*, *33*(1), 1-10.
50. Zafari, M., Ebadi, A., & Jahanbakhsh Gode Kahriz, S. (2016). Synergistic Effects of Glomus mosseae and Sinorhizobium meliloti on Compatibility Metabolites of Alfalfa. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *26*(3), 43-56. (in Persian).